



The Effect of Catalyst Support on the Bimetallic Ni-Ag Hydrogenation Catalyst Activity

Tedi Hudaya¹, Nita Ardelia Jairus², and Tatang Hernas Soerawidjaja^{3*}

^{1,2}Program Studi Teknik Kimia, FTI, UNPAR, Jalan Ciumbuleuit 94, Bandung

³Program Studi Teknik Kimia, FTI, ITB, Jl. Ganesha No.10, Bandung

*E-mail: thsoerawidjaja@gmail.com

Abstract

Hydrogenation is the addition reaction of hydrogen into double bounds molecules that are very important in chemical industry. Nickel, cheaper but less active than platinum and palladium, is widely used as a hydrogenation catalyst. Non-fossil source of hydrogen can be derived from formic acid decomposition reaction aided by a silver catalyst. Although the activity of nickel and silver are normally less than noble metals, the combination with appropriate support are expected to produce catalysts which can compete with the more expensive noble metals. The purpose of this research is to find out which support that gives the best hydrogenation activity in Ni-Ag bimetallic catalyst system. Support used in this research were TiO_2 , $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, and activated C with mole ratio Ni:Ag varied as 2:1, 3:1, and 4:1. Hydrogenation experiments conducted using kemiri sunan (*Reutealis trisperma*) oil with formic acid as H source, using a supported catalyst for 5 hours. The experimental results showed that all synthesized catalysts had good and comparable activities, capable of lowering the iodine value by about 32%. Catalyst with TiO_2 support gave the best activity, followed by activated C, and $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Meanwhile, the metal loading that yielded the best result was Ni:Ag of 4:1. Prolonged hydrogenation lasted for 10 hours did not cause further hydrogenation reaction.

Keywords: Hydrogenation, Ni-Ag, TiO_2 , $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, Activated Carbon

Pendahuluan

Hydrogenasi merupakan reaksi adisi hidrogen yang umumnya terjadi pada molekul berikatan rangkap seperti alkena, alkuna, dan asam lemak (Fessenden, 1992). Hidrogeasi biasa dilakukan untuk mereduksi atau menjenuhkan suatu senyawa organik. Pada industri kimia, hidrogenasi merupakan reaksi yang penting dalam pengolahan bahan bakar dengan membentuk alkana dari alkena maupun alkuna. Pembuatan alkohol dari keton maupun aldehid merupakan contoh lain dari reaksi hidrogenasi. Selain itu, dalam bidang panganpun proses hidrogenasi dilakukan dalam pembuatan margarin dari minyak. Reaksi hidrogenasi dimaksudkan untuk menjenuhkan minyak sehingga diperoleh minyak semi-padat atau padat yang tahan terhadap oksidasi.

Reaksi hidrogenasi merupakan reaksi eksoterm dengan energi aktivasi yang tinggi sehingga hidrogenasi tidak terjadi secara spontan. Katalis digunakan untuk mempercepat reaksi dengan membentuk mekanisme baru yang memiliki energi aktivasi yang lebih kecil. Katalis yang dapat digunakan pada reaksi hidrogenasi adalah logam transisi dengan sub kulit d yang tidak terisi penuh seperti rhodium, platina, paladium, ruthenium, dan nikel (Hagen, 2006). Rhodium, platina, paladium, dan ruthenium merupakan logam mulia yang umum digunakan pada reaksi hidrogenasi karena memberikan keaktifan yang besar. Namun karena harganya yang mahal, logam-logam transisi lain yang harganya lebih murah mulai digunakan sebagai katalis meskipun memberi keaktifan yang lebih rendah. Logam transisi lain yang telah banyak digunakan dalam reaksi hidrogenasi adalah nikel.

Sumber hidrogen pada reaksi hidrogenasidapat ditambahkan secara langsung dalam bentuk gas H_2 maupun secara tidak langsung dengan hidrogenasi perpindahan/ *transfer hydrogenation*. Hidrogenasi perpindahan merupakan penggunaan H_2 dari suatu molekul yang mengalami reaksi dekomposisi sebagai reaktan pada reaksi hidrogenasi. Pada reaksi hidrogenasi, bahaya penggunaan gas hidrogen bertekanan tinggi dapat dikurangi dengan hidrogenasi perpindahan. Selain itu, biaya yang diperlukan untuk reaksi hidrogenasi pun menjadi lebih murah dengan hidrogenasi perpindahan. Asam format merupakan salah satu senyawa yang umum digunakan sebagai sumber hidrogen. Dekomposisi asam format pada permukaan logam menghasilkan H_2 dan CO_2 (Hagen, 2006).

Platina, ruthenium, paladium, dan rhodium merupakan beberapa contoh logam mulia dengan keaktifan yang baik sebagai katalis dekomposisi asam format, tetapi karena harganya yang mahal maka digunakan logam lain sebagai pengantinya. Dengan mempertimbangkan faktor ekonomis, maka perak digunakan sebagai logam dekomposisi asam format.



Dengan digunakannya perak dan nikel sebagai alternatif katalis platina, paladium, dan logam lainnya, maka katalis tersebut memberikan keaktifan yang lebih kecil. Peningkatan aktivitas katalis dapat ditingkatkan dengan digunakannya penyangga/ *support*. Minimnya penelitian yang berfokus pada reaksi hidrogenasi perpindahan berpenyangga menimbulkan pertanyaan mengenai penyangga yang tepat untuk digunakan dalam peningkatan aktivitas katalis. Selain pengaruh jenis penyangga yang memiliki variasi keasaman, komposisi katalis Ag dan Ni dalam katalis juga perlu diteliti agar dapat menghasilkan katalis dengan keaktifan yang tinggi.

Metode Penelitian

Pembuatan katalis (US Patent, 2630444 A). Proses pembuatan katalis dilakukan dengan cara impregnasi kering. Katalis yang digunakan sebanyak 10% dari massa minyak dengan *loading* total sebesar 10% dari massa katalis. Penyangga yang digunakan adalah TiO_2 , $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, dan karbon aktif dengan rasio perbandingan mol Ni : Ag sebesar 2:1, 3:1, dan 4:1. TiO_2 yang digunakan merupakan TiO_2 degussa P-25 (Evonik) yang terdiri dari rutil dan anatase. Sementara karbon aktif yang digunakan merupakan norit *powder*. Katalis dibuat dengan menyiapkan penyangga dalam gelas kimia. Selanjutnya larutan KCOOH sesuai variasi perbandingan mol Ni:Ag disiapkan dengan volume 1ml/ 1 gr penyangga. Penyangga selanjutnya ditetesi secara merata oleh larutan KCOOH. Penetesan dilakukan secara berangsur dan dilakukan kembali setelah permukaan penyangga terlihat kering. Penyangga yang telah dibasahi selanjutnya dibiarkan mengering pada suhu ruang selama ± 12 jam. Larutan prekursor yang berisi $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan AgNO_3 sesuai variasi perbandingan mol Ni:Ag dibuat dengan volume 0,5ml/ 1 gr penyangga. Penyangga, larutan prekursor, aquadest, dan corong buchner kemudian dimasukan ke dalam kulkas semalaman. Dalam kondisi dingin, penyangga ditetesi secara merata oleh larutan prekursor Ni^{2+} dan Ag^+ . Penetesan secara berangsur dilakukan kembali setelah permukaan penyangga terlihat kering. Penyangga kemudian dibiarkan mengering dan dilanjutkan dengan pencucian 5 kali oleh aquadest dingin menggunakan corong buchner. Selanjutnya, katalis didiamkan pada suhu kamar hingga mengering. Katalis yang telah mengering kemudian dipanaskan secara perlahan dalam kondisi vakum hingga mencapai suhu 75°C . Pemanasan tidak boleh dilakukan pada temperatur yang tinggi karena dapat menyebabkan terjadinya ledakan. Katalis yang telah dikeringkan telah siap digunakan.

Hidrogenasi. Temperatur hidrogenasi ditentukan dengan menghubungkan reaktor yang berisi 115 ml minyak kemiri sunan, 75 ml aseton, 10M asam format berlebih (1,5 kali kebutuhan teoritis), katalis, dan pengaduk magnetik dengan gelas kimia yang telah berisi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ jenuh. Pengadukan dilakukan dalam laju yang maksimum dan temperatur reaktor dinaikan secara perlahan hingga warna larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ berubah menjadi keruh. Perubahan warna menandakan terbentuknya CO_2 dari reaksi dekomposisi asam format oleh katalis perak. Tempertaur yang digunakan untuk reaksi hidrogenasi adalah 5°C lebih tinggi daripada temperatur yang diperoleh dari penentuan temperatur hidrogenasi. Reaksi dilakukan selama 5 jam.

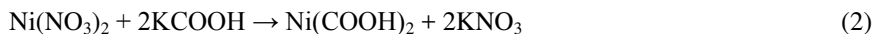
Analisis. Analisis keaktifan katalis dilakukan dengan cara membandingkan penurunan bilangan iodium minyak hasil reaksi. Katalis dengan keaktifan yang tinggi mampu menghidrogenasi minyak dengan baik sehingga kejenuhan minyak menjadi meningkat yang ditandai dengan penurunan bilangan iodium yang lebih besar. Minyak hasil hidrogenasi dipisahkan dari katalis dengan cara disentrifugasi selama 15 menit dengan kecepatan 6000rpm. Selanjutnya, cairan dimasukkan kedalam corong pemisah agar minyak dan asam format dapat dipisahkan. Minyak selanjutnya dicuci untuk menghilangkan asam format yang tersisa. Minyak yang telah bersih selanjutnya diuji bilangan iodiumnya dengan metode Wijs, yang dilakukan dengan menambahkan 15ml kloroform dan 25 ml reagen Wijs pada sampel minyak yang disimpan dalam labu erlenmeyer. Setelah didiamkan selama 1-2 jam pada tempat yang tertutup, 10 ml larutan KI 10% dan 150 ml aquasdest ditambahkan ke dalam erlenmeyer. Campuran dalam erlenmeyer kemudian dititrasi dengan larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang telah distandarkan. Titrasi dihentikan sejenak saat warna kecoklatan hampir hilang. Selanjutnya, 5 tetes indikator amilum 10% ditambahkan pada erlenmeyer hingga warna campuran berubah menjadi hitam. Titrasi kembali dilanjutkan hingga tidak ada warna hitam yang terbentuk. Bilangan iodium selanjutnya dihitung dengan persamaan:

$$\text{Bilangan iodium} = \frac{12,69(M)(B-A)}{W} \quad (1)$$

Dengan M adalah molaritas larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang telah distandarkan (M), B adalah volume $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang diperlukan untuk titrasi blanko (ml), A adalah volume $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang diperlukan untuk titrasi sampel (ml), sedangkan W adalah massa sampel minyak (gr).

Hasil dan Pembahasan

Pada proses pembuatan katalis, penambahan larutan prekursor pada penyangga yang telah ditetesi larutan KCOOH akan menyebabkan terjadinya perubahan warna karena adanya reaksi pembentukan AgCOOH, reaksi reduksi Ag⁺ dan reaksi reduksi Ni²⁺. Reaksi awal yang terjadi dalam larutan prekursor saat dilakukan impregnasi nikel-perak dapat dituliskan sebagai berikut :



Terbentuknya AgCOOH yang merupakan senyawa tidak stabil memberikan warna coklat muda pada penyangga. Setelah beberapa saat, warna coklat akan semakin menua karena adanya paparan cahaya. Dengan adanya cahaya, reduksi Ag⁺ menjadi Ag menjadi lebih cepat. Reaksi reduksi Ag⁺ dapat dituliskan sebagai berikut:



Ion format merupakan agen pereduksi yang baik karena dapat mendonorkan *hydride* / ion H⁻ (Menger dan Mandell, 2013) yang selanjutnya akan mereduksi ion Ag⁺ menjadi Ag. Reaksi reduksi Ag⁺ menjadi Ag akan menyebabkan perubahan warna pada penyangga menjadi abu/ perak. Sementara reduksi Ni²⁺ menjadi Ni akan menyebabkan perubahan warna menjadi hitam.

Perubahan warna pada penyangga TiO₂ dapat diamati dengan jelas pada percobaan. TiO₂ yang awalnya berwarna putih berubah menjadi hijau muda setelah ditambahkan Ni²⁺ dan Ag⁺. Adanya Ni(NO₃)₂ dalam larutan memberikan warna hijau muda pada larutan prekursor juga pada TiO₂ yang telah diimpregnasi. Warna hijau muda lama kelamaan berubah menjadi coklat muda kemudian menjadi coklat tua. Perubahan warna tersebut disebabkan karena terbentuknya AgCOOH. AgCOOH memberikan warna coklat muda pada penyangga dan setelah beberapa saat katalis dibiarkan, warna katalis berubah menjadi lebih gelap. Perubahan warna tersebut disebabkan karena AgCOOH yang terpapar cahaya. Pada temperatur ruang, AgCOOH akan tereduksi secara perlahan meninggalkan residu berwarna abu dan perak. Dengan adanya cahaya, reduksi Ag⁺ menjadi Ag menjadi lebih cepat dan reaksi tersebut merupakan reaksi autokatalitik, dimana adanya Ag akan mempercepat reduksi Ag⁺ (US Patent, 2630444 A). Tidak terbentuknya warna perak maupun nikel mungkin disebabkan karena adanya interaksi antara inti aktif dengan penyangga. TiO₂ memiliki sifat semi konduktor yang memungkinkan bersifat sebagai oksidator maupun reduktor. Dengan adanya interaksi tersebut, mungkin menyebabkan sulit tereduksi ion Ag⁺ dan ion Ni²⁺ menjadi Ag dan Ni. Untuk menguji terbentuknya Ag pada penyangga TiO₂, maka dilakukan uji pembentukan CO₂. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan gelas kimia yang berisi campuran asam format dan katalis dengan larutan Ca(OH)₂ jenuh. Perubahan warna menunjukkan adanya Ag dalam penyangga.

Sementara pada penyangga γ-Al₂O₃ terjadi perubahan warna dari putih menjadi coklat tua, dan berubah menjadi hitam setelah dibiarkan beberapa saat. Perubahan warna menjadi coklat menunjukkan terbentuknya AgCOOH, sementara warna hitam menunjukkan adanya Nikel. Warna penyangga tidak berubah menjadi perak/ abu pada saat penyangga dibiarkan pada suhu ruang. Namun, setelah katalis dicuci, dapat terlihat adanya perak yang mengambang. Demikian juga setelah katalis dikeringkan dalam oven vakum, warna katalis berubah menjadi abu. Hal tersebut menunjukkan adanya perak dalam penyangga.

Terakhir, penyangga yang digunakan dalam pembuatan katalis nikel-perak adalah karbon aktif yang berasal dari norit. Pada penyangga karbon aktif, perubahan warna dapat diamati dengan sangat jelas. Karbon aktif yang awalnya berwarna hitam berubah menjadi warna perak yang menandakan sudah terbentuknya Ag pada penyangga. Sementara warna hitam nikel tertutupi oleh warna karbon aktif yang dari mulanya sudah berwarna hitam.

Setelah katalis diimpregnasi, katalis dibiarkan mengering pada temperatur ruang selama 12 jam. Katalis selanjutnya dicuci sebanyak 5 kali dengan aquadest menggunakan corong buchner. Katalis kemudian dipanaskan perlahan dalam kondisi vakum hingga temperaturnya mencapai 75°C. Katalis yang telah dipanaskan selanjutnya dihaluskan untuk memperbesar luas permukaannya.

Selanjutnya, setelah katalis yang dibuat diuji dalam reaksi hidrogenasi. Minyak hasil hidrogenasi kemudian diuji bilangan iodiumnya dengan metode Wijs. Minyak dengan bilangan iodium terkecil menunjukkan keaktifan katalis terbesar. Minyak hasil hidrogenasi menjadi lebih jenuh sehingga bilangan iodiumnya pun menjadi lebih kecil. Dari percobaan yang telah dilakukan, dapat diamati bahwa semua katalis mampu menurunkan bilangan iodium dengan rata-rata 31,82% hingga menghasilkan bilangan iodium akhir minyak lebih kecil daripada 120. Minyak kemiri sunan yang pada awalnya memiliki bilangan iodium sebesar 170,92 menjadi jauh lebih jenuh dengan dilakukannya reaksi hidrogenasi perpindahan. Bilangan iodium dari setiap katalis disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1.Perbandingan Keaktifan Berdasarkan Variasi *Loading* dan Jenis Penyangga

	TiO ₂	γ-Al ₂ O ₃	C aktif
2:1	119,25	119,51	118,30
3:1	113,44	118,01	117,98
4:1	112,59	116,89	116,82

Dapat diamati bahwa bilangan iodium dari variasi diatas relatif sama. Namun jika diamati lebih lanjut, diperoleh kecenderungan data dimana variasi perbandingan mol Ni : Ag memberikan hasil yang terbaik pada saat nilainya = 4:1. Katalis yang digunakan, Ni dan Ag mempunyai fungsi yang berbeda dalam reaksi hidrogenasi perpindahan. Oleh karena itu, variasi perbandingan mol mempengaruhi keaktifan katalis Ni-Ag berpenyangga. Dari percobaan diatas, semakin tinggi perbandingan variasi mol Ni : Ag, maka semakin baik keaktifan katalisnya. Selain itu, karena harga nikel yang lebih murah dibandingkan dengan perak, maka dapat disimpulkan bahwa variasi perbandingan mol Ni : Ag lebih baik nilainya 4 : 1. Sementara penyangga yang memberikan keaktifan terbaik adalah TiO₂, diikuti dengan karbon aktif dan γ-Al₂O₃. Penyangga TiO₂ yang digunakan merupakan TiO₂ degussa P-25 (Evonik) yang tidak memiliki pori. Dengan tidak adanya pori, maka tahanan difusi untuk minyak mencapai inti aktif katalis dapat diabaikan. Meskipun penyangga yang bersifat basa lebih mudah mereduksi Ni²⁺, namun karbon aktif justru memberikan keaktifan yang lebih kecil dibandingkan dengan TiO₂. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa sifat fisik TiO₂ yang tidak berpori mengalahkan kelebihan dari karbon aktif yang lebih mudah mereduksi. Hal tersebut mungkin menjadi penyebab lebih baiknya TiO₂ digunakan sebagai penyangga dibandingkan γ-Al₂O₃ dan karbon aktif. Bilangan iodium minyak hasil hidrogenasi oleh katalis berpenyangga γ-Al₂O₃ dan karbon aktif relatif hampir sama, namun karbon aktif memberikan hasil yang sedikit lebih baik. Hal tersebut disebabkan karena sifat permukaan karbon aktif yang lebih basa dibandingkan γ-Al₂O₃. Penyangga yang lebih basa, menyebabkan lebih baiknya reduksi inti aktif pada penyangga.

Dari percobaan yang disajikan dalam tabel 1, nilai bilangan iodium terendah diperoleh pada saat penggunaan TiO₂ sebagai penyangga dengan variasi perbandingan mol Ni : Ag sebesar 4 : 1. Bilangan iodium yang diperoleh sebesar 112,59. Untuk mengetahui apakah reaksi hidrogenasi dapat dilakukan lebih jauh dengan harapan terjadinya penurunan bilangan iodium lebih lanjut, maka dilakukan percobaan tambahan. Percobaan tambahan dilakukan menggunakan TiO₂ sebagai penyangga, dengan variasi perbandingan mol Ni : Ag sebesar 4 : 1, dan lama hidrogenasi selama 10 jam. Hasil yang diperoleh dari reaksi 5 jam dan 10 jam disajikan dalam tabel 2.

Tabel 2.Perbandingan Keaktifan Berdasarkan Variasi *Loading* dan Jenis Penyangga

Waktu (jam)	Bilangan Iodium	Warna	Viskositas (cP)
5	112,59	Kuning-bening	110,77
10	112,56	Kuning-kecoklatan	113,59

Dapat diamati bahwa bilangan iodium minyak pada saat reaksi hidrogenasi 5 jam nilainya sama dengan 10 jam. Hal tersebut menandakan bahwa reaksi hidrogenasi tidak dapat berlangsung lebih lanjut. Sementara pada warna minyak sendiri, terjadi perubahan warna dari kuning bening menjadi kecoklatan (kopi susu). Untuk mengetahuinya, maka dilakukan pengukuran viskositas. Dari data tersebut disimpulkan bahwa minyak dengan lama hidrogenasi 10 jam memiliki nilai viskositas yang sedikit lebih tinggi. Hal tersebut menandakan tidak terjadinya reaksi oligomerisasi. Perubahan warna mungkin disebabkan karena adanya inti aktif yang terlepas dan berikatan dengan asam lemak membentuk suatu ligan. Perak dan nikel yang merupakan logam transisi dapat memberikan warna saat membentuk suatu ikatan kimia. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa reaksi selama 5 jam lebih baik dibandingkan dengan reaksi selama 10 jam.

Kesimpulan

1. Reaksi hidrogenasi perpindahan dengan asam format sebagai sumber H₂ dapat berlangsung pada tekanan ruang, suhu 95°C, dengan adanya katalis Ni-Ag berpenyangga TiO₂ atau γ-Al₂O₃ atau karbon aktif.
2. Seluruh katalis memberikan keaktifan yang baik sehingga mampu menurunkan bilangan iodium sebesar 31,82% (dibawah 120).
3. Penyangga TiO₂ memberikan keaktifan yang terbaik, diikuti oleh karbon aktif dan γ-Al₂O₃.
4. Perbandingan mol Ni : Ag = 4 : 1 memberikan keaktifan yang terbaik.
5. Reaksi hidrogenasi lebih baik dilakukan selama 5 jam
6. Perlu dilakukan percobaan untuk mengetahui jumlah asam format awal dan akhir reaksi sehingga dapat diketahui variasi *loading* yang tepat.
7. Perlu dilakukan percobaan dengan variasi rentang waktu hidrogenasi dibawah 5 jam sehingga keaktifan katalis dapat dibandingkan dengan lebih baik.



Daftar Pustaka

- Bettahar MM, Wojcieszak R, Monteverdi S. NiAg catalysts prepared by reduction of Ni^{2+} ions in aqueous hydrazine II support effect. *Journal of Colloid and Interface Science* 2009; 332: 416-424.
- Chorkendorff I, Niemantsverdriet JW. *Concepts of modern catalysis and kinetics*. Weinheim: Wiley-VCH. 2003.
- Fessenden, Fessenden. *Kimia Organik*, edisi 3. Gelora Aksara Pratama. 1992.
- Fugassi JP, Cowan GA. Method of making silver formate, US patent 2630444, 1953.
- Hagen J. *Industrial Catalysis*. Mannheim: Wiley-VCH. 2006.
- Hengne AM. Surface synergism of an Ag-Ni/ZrO₂ nanocomposite for the catalytic transfer hydrogenation of bio-derived platform molecules. *RSC Advances* 2014; 4: 9730-9736.
- Menger FM, Mandell L. *Electronic interpretation of Organic Chemistry: a problems-oriented*. Plenum: Springer. 2013: 77.
- Wojcieszak R, dkk. Study of Ni-Ag/SiO₂ catalysts prepared by reduction in aqueous hydrazine. *Journal of Colloid and Interface Science* 2008; 317: 166-174.





Lembar Tanya Jawab

Moderator : Didi Dwi Anggoro (UNDIP Semarang)

Notulen : Handrian (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : I Nyoman Widiasta (UNDIP Semarang)

Pertanyaan : Katalis ada bagian suport dan bagian aktif. Lalu bagian aktif ada diseluruh bagian atau hanya di surface?

Jawaban : Distirbusi inti aktif dapat terjadi di permukaan, amupun di dalam pori penyangga. Untuk penyangga TiO_2 , digunakan digunakan senyawa yang tidak berpori sehingga distribusi inti aktif ada di permukaan. Untuk penyangga $\text{Z-Al}_2\text{O}_3$ dan C aktif, distribusi inti aktif terjadi pada seluruh permukaan katalis karena $\text{Z-Al}_2\text{O}_3$ dan C aktif memiliki ukuran pori yang besar.
2. Penanya : Mahreni (UPN "Veteran" Yogyakarta)

Pertanyaan : Mengapa rasio 4 : 1 lebih baik hasilnya dibandingkan 2:1 atau 3:1 mohon dijelaskan.

Jawaban : Karena nikel dan perak memiliki fungsi yang berbeda Nikel merupakan katalis hidrogenasi sementara perak merupakan katalis dikomposisi asam format. $\text{Ni} : \text{Ag}$ sebaiknya 2:1 karena perbedaan kecepatan reaksi hidrogenasi dan dekomposisi.